Rede Fixa de Telecomunicações

- **Modos de transferência da informação**
- **Arquitectura da rede**
- **Áreas funcionais da rede**
- **Evolução da rede**

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Mário Jorge Leitão*

Neste capítulo, começa-se por discutir os modos de transferência de informação utilizados em redes de comunicação.

Seguidamente, apresenta-se e justifica-se a topologia da rede fixa de telecomunicações, resultante inicialmente do desenvolvimento da rede telefónica, para finalmente convergir para uma rede de dados universal.

Procura-se dar uma visão global dos elementos que a constituem, pondo em destaque quer o papel que cada um deles desempenha, quer a sua articulação. Neste sentido, e identificam-se e caracterizam-se as áreas funcionais de equipamento terminal de utilizador, rede de acesso, rede de transporte, rede de comutação e redes auxiliares. Esta abordagem sintética do conjunto da rede fixa de telecomunicações tornará possível a exploração detalhada efectuada em cada um dos capítulos seguintes, tendo sempre presente a visão global da rede.

Finalmente, perspectiva-se a evolução da rede fixa de telecomunicações, desde a rede analógica, passando pela fase de digitalização e posterior integração de serviços, até à fase actual de oferta diversificada de redes e serviços e convergência com as redes de dados.

Modos de transferência da informação

Modo de circuito — modo fundamental utilizado na rede pública telefónica comutada **PSTN -** *Public Switched Telephone Network*

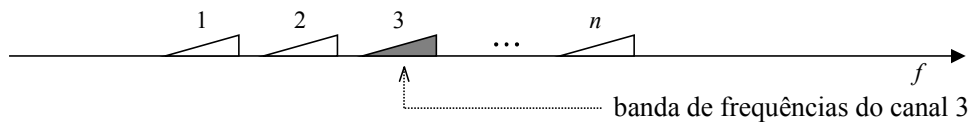
Multiplexagem

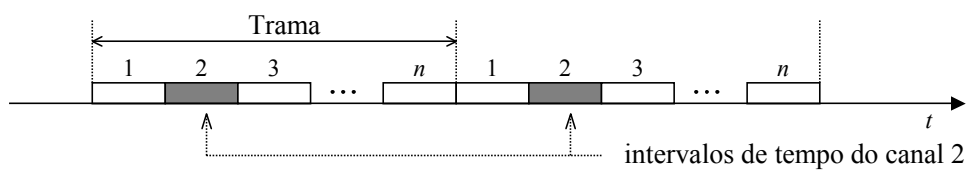
– são utilizadas técnicas de ***multiplexagem determinística***

– cada canal ocupa

- uma banda fixa ou
- intervalos de tempo cíclicos em tramas sucessivas

débito constante
atraso constante

1 2 3 … n
f
banda de frequências do canal 3

Multiplexagem de frequências em modo circuito

Trama
1 2 3 … n 1 2 3 … n
t
intervalos de tempo do canal 2

Multiplexagem temporal em modo circuito

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O modo de circuito é uma técnica utilizável tanto em redes analógicas como em digitais. Neste estudo, concentra-se a análise no caso digital, pela sua importância dominante.

Um circuito é suportado directamente sobre um canal físico de comunicação dedicado (referiremos indistintamente o circuito ou o próprio canal físico dedicado).

No caso da multiplexagem de frequência, o circuito dispõe de uma largura de banda pré-definida, adequada ao débito e codificação do sinal a transmitir. São necessárias ainda bandas de guarda adicionais para reduzir as interferências entre canais adjacentes.

No caso da multiplexagem temporal, um circuito é caracterizado por um débito binário constante (pré-definido), embora, como veremos a seguir, possa ser alterado dinamicamente.

Em qualquer dos casos, o atraso de transmissão é constante.

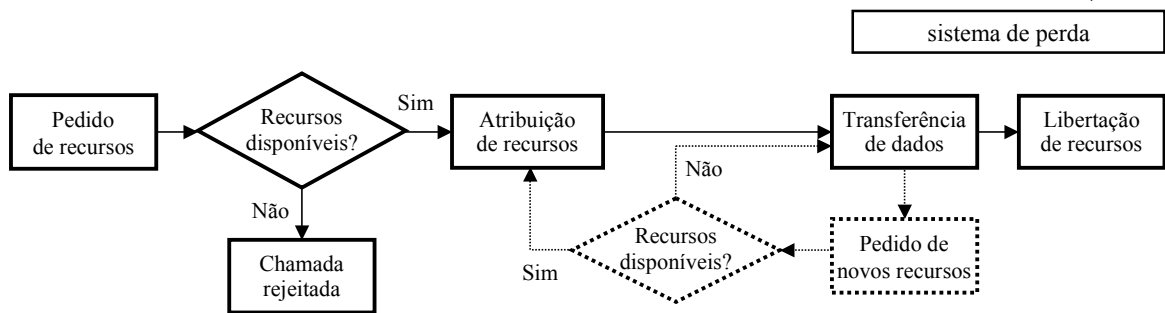
O modo de circuito é, por isso, especialmente adequado a serviços de débito constante (serviços CBR, *Constant Bit Rate*).

Como veremos mais tarde, na multiplexagem temporal a estruturação da informação em tramas exige um pequeno acréscimo (*overhead*) para sincronização geral da trama, e, consequentemente, do conjunto de canais.

Modos de transferência da informação

Modo de circuito

Acesso aos recursos

- os recursos são solicitados à rede, no início da chamada, através de sinalização
- se a rede tiver disponibilidade, são atribuídos; caso contrário a chamada é rejeitada
- estabelece-se uma conexão (circuito) entre os sistemas terminais
- pode haver renegociação de recursos (aumento ou redução de débito)
- os recursos são libertados no fim da chamada, através de sinalização

Atribuição de recursos numa rede em modo de circuito

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Uma das características do modo circuito é a necessidade de uma fase prévia de estabelecimento de conexões.

Só nesta fase de atribuição de recursos é que há competição: uma vez atribuído, o circuito é utilizado em exclusivo pelos sistemas terminais até à sua libertação.

A possibilidade de renegociação dinâmica de circuitos em certos sistemas ultrapassa uma das maiores limitações do modo circuito: o débito pode ser adaptado a requisitos variáveis das fontes.

Pela sua natureza, o modo de pacote é aplicável apenas a comunicações digitais.

Neste caso, o canal de comunicação assenta num fluxo de pacotes, suportando serviços de débito variável (serviços VBR, *Variable Bit Rate*) da seguinte forma:

- o comprimento de cada pacote pode variar;
- o frequência de pacotes pode também variar;
- no limite, se não houver dados a transmitir, não são transmitidos pacotes (não é utilizada qualquer banda por uma fonte inactiva).

Como o cabeçalho representa um acréscimo (*overhead*) por pacote, o acréscimo total é geralmente superior ao existente nas redes em modo de circuito. No entanto, esta perda de eficiência das redes em modo de pacote é rapidamente recuperada no caso de serviços de débito variável (VBR):

- se fosse utilizada o modo de circuito, o débito do canal deveria ser o débito máximo da fonte para não haver perda de informação - consequentemente, em grande parte do tempo, o canal estaria sub-utilizado;
- com o modo de pacote, é apenas utilizado, em cada momento, o débito requerido pela fonte, ficando o excedente disponível para os outros canais.

A forma como o identificador do campo do cabeçalho referencia o pacote depende do tipo de rede:

- nas redes que suportam serviços sem conexões, os pacotes são completamente autónomos, contendo por isso necessariamente a identificação da fonte e do destinatário;
- nas redes que suportam serviços orientados às conexões, ocorre previamente uma fase de estabelecimento de conexões, pelo que os pacotes transmitidos são referenciados à conexão a que pertencem através de um simples identificador.

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Acesso aos recursos

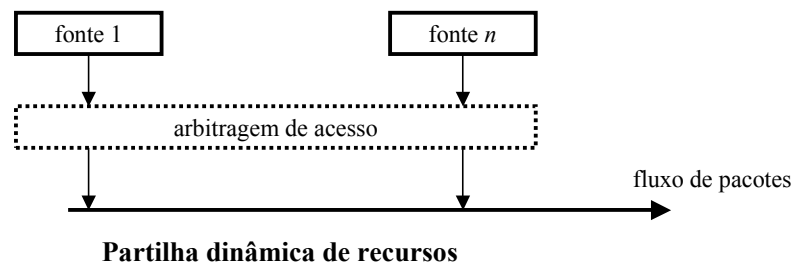
– duas ou mais fontes podem tentar enviar simultaneamente pacotes

– um protocolo adequado resolve o conflito de acesso aos recursos

- só uma fonte pode transmitir o respectivo pacote
- os pacotes das outras fontes são memorizados <······ atraso variável sistema de atraso
- repete-se o processo até se esgotarem os pacotes a transmitir

– ocasionalmente poderá haver sobrecarga nos nós da rede

– as fontes poderão ter de reduzir o débito, para minimizar a perda de pacotes

Partilha dinâmica de recursos

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O principal problema das redes de pacotes resulta do processo de competição pelos recursos, já que numa rede em sobrecarga podem resultar atrasos e eventualmente perdas de pacotes.

No entanto, o aumento de eficiência compensa largamente estes inconvenientes, de tal forma que este modo, tendo a sua génese nas redes de dados, tem vindo a ser igualmente adoptado no transporte de informação nas redes públicas de telecomunicações.

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes sem conexões

– não requerem o estabelecimento de conexões

– transferem pacotes de forma autónoma: ***datagramas***

exemplos de redes:
LAN´s
IP

Princípios de comunicação

- *Operação sem conexões*
  - não é necessária a fase de estabelecimento e libertação de conexões
  - em contrapartida, todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino (Internet=32 bits)
- *Transferência de dados*
  - cada pacote é enviado logo que disponível e é tratado autonomamente pela rede
  - os pacotes podem seguir trajectos diferentes e chegar fora da ordem por que foram enviados
  - não são disponibilizados pela rede detecção/correcção de pacotes perdidos nem controlo de fluxo
  - passa a ser responsabilidade do equipamento sistema terminal tratar estas situações de erro
  - não é necessário dispor de informação nos nós sobre as comunicações em curso (informação de estado)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Neste caso, cada pacote tem o endereço completo e é encaminhado de forma independente dos outros. A possibilidade de haver pacotes perdidos ou fora de ordem requer que o emissor os numere antes de os enviar; que o receptor faça, se necessário, a sua reordenação; e que peça o reenvio no caso de algum pacote não chegar dentro de um certo intervalo de tempo expectável.

Devido à semelhança com os telegramas, como unidades transferidas autonomamente numa rede postal, os pacotes deste tipo de redes recebem a designação de "**datagramas**".

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes com conexões

– requerem o estabelecimento de conexões

– disponibilizam ***circuitos virtuais***

exemplos de redes:
X.25
Frame Relay
ATM

Princípios de comunicação

- *Estabelecimento da conexão através de sinalização*
  - dois sistemas terminais em cada extremo negoceiam as características da conexão
  - os endereços de origem e destino só são enviados nesta fase (tipicamente até 56 bits cada, no máximo)
  - estabelecem-se identificadores de conexão para permitir o encaminhamento nos nós de comutação
- *Transferência de dados*
  - os pacotes transportam apenas o identificador de conexão, de reduzido comprimento (redes ATM=28 bits)
  - os pacotes seguem sempre o mesmo trajecto e chegam pela ordem em que foram enviados
  - é suportada a detecção e, eventualmente, a correcção de pacotes perdidos
  - pode ser suportado o controlo de fluxo por circuito virtual
- *Libertação da conexão através de sinalização*
  - os identificadores de conexão são libertados, podendo vir a ser utilizados por novas conexões

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Estes serviços apresentam muitas semelhanças com o sistema telefónico. O aspecto essencial de uma conexão é o seu funcionamento como um "tubo": o emissor envia os pacotes de um extremo e o receptor retira-os pela mesma ordem de emissão.

As semelhanças com as redes em modo de circuito levaram a designar este tipo de serviço de "**circuito virtual**". Não está efectivamente estabelecido um circuito com débito constante e garantido, como em modo de circuito, mas estabelece-se, da mesma forma, um caminho pré-definido (o tal "tubo") para a transferência de dados.

Modos de transferência da informação

Critério de comparação	Modo de circuito	Modo de pacote Datagramas	Modo de pacote Circuitos virtuais
Estabelecimento de conexões	S	N	S
Reserva de recursos	S	N	Parcial/Estatística
Canal físico dedicado	S	N	
Partilha dinâmica de recursos	N	S	
Atraso transmissão constante	S	N	
Eficiência para serviços CBR	+	– –	–
Eficiência para serviços VBR	–	+	+
Encaminhamento fixo	S	N	S
Endereçamento do destino	apenas no estabelecimento da conexão	endereço completo em todos os pacotes	referência do circuito virtual em todos os pacotes
Informação de estado nos nós	S	N	S
Controlo de congestionamento	no estabelecimento da conexão	difícil	no estabelecimento e durante a conexão
Tarifas	por tempo	por quantidade de informação	

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O modo circuito é indiscutivelmente o mais adequado ao transporte de serviços CBR. Contudo, num cenário de integração que adiante discutiremos, mesmo os serviços CBR terão tendência a ser suportados no modo de pacote, existindo duas opções, sem e com conexões.

As redes orientadas a serviços sem conexão, como as LAN's e as redes IP, têm menores funcionalidades, mas podem ser mais rápidas, pois fazem apenas o "melhor esforço possível", sem garantia total de entrega de pacotes nem de entrega ordenada. Neste caso, transfere-se da rede para os sistemas terminais a responsabilidade e o peso das funções de controlo de erro, o que não arrasta problemas de maior, dado o grande desenvolvimento, a um custo diminuto, da capacidade de processamento dos computadores, incluindo mesmo os de utilização pessoal.

As redes orientadas a serviços com conexão, e, em especial as de primeira geração, como a rede X.25, têm maior complexidade, sendo por isso mais lentas, uma vez que têm de suportar mecanismos para assegurar a integridade da transmissão de dados e o controlo de fluxo por circuito virtual; além disso, como não pode haver garantia absoluta de a rede ser capaz de cumprir esses objectivos, os sistemas terminais suportam adicionalmente protocolos de controlo de erro que, operando extremo-a-extremo, duplicam algumas funções da rede.

Para ultrapassar estas dificuldades, e aproveitando a evolução tecnológica no sentido de redes mais fiáveis e com menores erros, surgiram mais tarde as redes *Frame Relay*, que retiraram muita da complexidade e redundância existente nas redes X.25: não é suportado controlo de fluxo nem correcção de pacotes perdidos. É uma opção atractiva que compete com linhas dedicadas e com as próprias redes X.25.

Na rede de banda larga ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) optou-se igualmente por uma versão muito simplificada de transferência em modo de pacote: não é suportado controlo de fluxo nem correcção de pacotes perdidos, adoptando-se ainda pacotes de comprimento fixo (células) para permitir a operação a grande velocidade. E como uma das regras de ouro do mercado competitivo é "se não os podes vencer, junta-te a eles", os defensores desta opção têm feito um grande esforço para adequar a rede ATM ao transporte de tráfego IP.

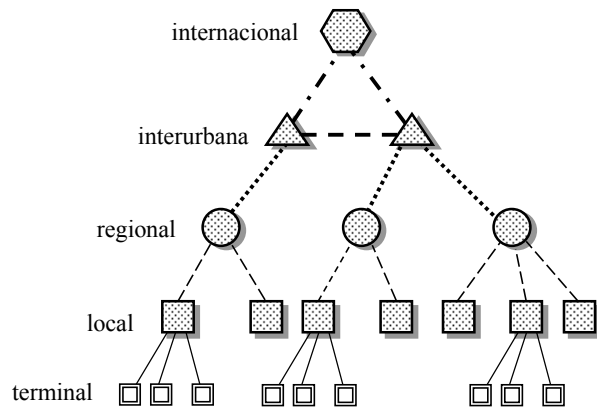
Arquitectura da rede

Topologia hierárquica

Características

– introduz vários níveis de comutação

Central local → Central regional → Central interurbana → Central internacional

– permite elevado número de utilizadores com grande dispersão geográfica

Topologia hierárquica simples

Análise crítica

- *Eficiência maximizada*
  - densidade de nós dependente da concentração de utilizadores
  - nós e ligações optimizados para o tráfego que suportam
- *Crescimento suave*
  - a introdução de um novo utilizador requerer apenas uma ligação a um nó próximo
  - ligações entre nós e capacidade destes cresce em função do aumento de tráfego

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Desde há longos anos, a interligação entre utilizadores faz-se através de uma central de comutação, numa topologia em estrela. Contudo, numa rede desenvolvida geograficamente dispersa, é impensável ter-se todos os assinantes ligados a uma única central. Para contornar este problema, constituem-se as chamadas redes locais, isto é, grupos de assinantes numa dada área geográfica, ligados à respectiva central local.

Poder-se-á agora equacionar como se fará a interconexão entre centrais locais: a solução óbvia é recorrer a uma central de nível superior, tal como a ligação de utilizadores se faz através de uma central local.

Constitui-se assim a chamada rede de interligação regional, constituída por centrais de trânsito regional (centrais primárias) e por ligações (junções) às centrais locais.

O nível seguinte é a rede de interligação nacional ou rede interurbana, constituída por centrais de trânsito interurbano (centrais secundárias) e por ligações (troncas) às centrais de trânsito regional e outras centrais de trânsito interurbano.

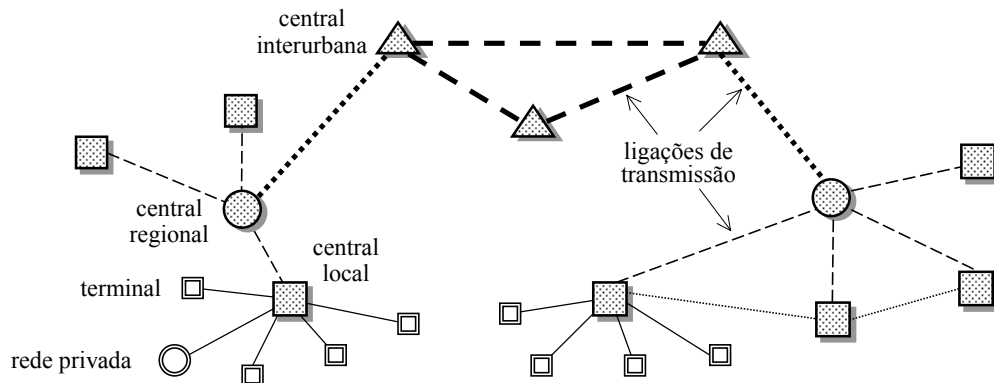
Acima deste nível, existirá ainda a rede internacional e correspondentes centrais internacionais.

Resulta, assim, uma rede hierárquica de vários níveis com nós e interligações dimensionados para proporcionar uma elevada eficiência. Por exemplo, é possível obter ocupações nas junções e troncas da ordem de 70% por cada canal, nos períodos de maior tráfego.

Arquitectura da rede

Topologia hierárquica

Emalhamento dos nós de comutação

– optimiza os recursos
– proporciona maior fiabilidade

Topologia hierárquica com emalhamento parcial

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Os sistemas digitais actualmente usados nas redes de comunicação permitem suportar técnicas avançados de gestão de rede, que, por sua vez, possibilitam a exploração eficiente de redes emalhadas.

Por vezes, o tráfego entre duas centrais do mesmo nível hierárquico é suficientemente intenso para justificar uma ligação directa entre as centrais, sem recorrer a uma central de nível superior.

Além disso, ao criar malhas, se ocorrer uma situação de sobrecarga numa dada ligação, as novas chamadas podem ser desviadas para outros ramos das malhas existentes.

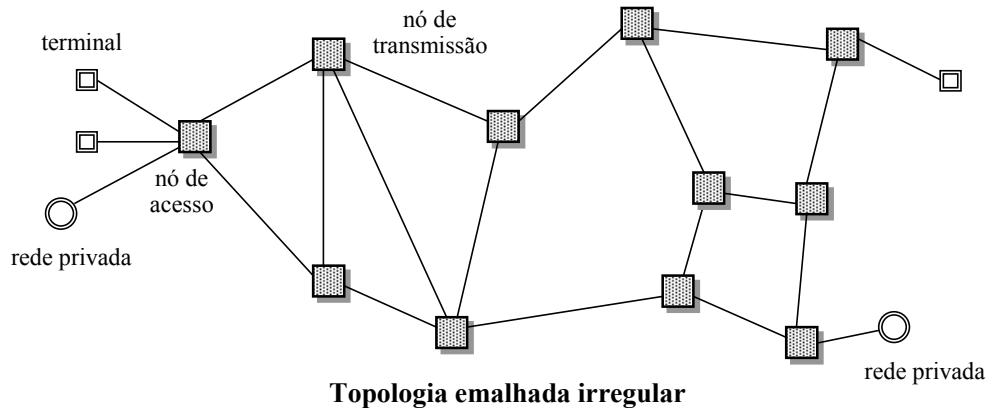
Por outro lado, qualquer eventual falha num sistema pode ser contornada transferindo imediatamente o tráfego para ligações alternativas.

Arquitectura da rede

Topologia emalhada

Características

- avanços nas tecnologias de transmissão conduziram a redes de tal forma emalhadas que se dilui a topologia originalmente hierárquica
- novos operadores que entram no mercado não têm a herança da rede telefónica - estruturam as redes tendo em conta os requisitos de tráfego presentes e futuros

Topologia emalhada irregular

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A interligação em redes de grandes dimensões exige encaminhar tráfego muito variável, entre as diversas regiões geográficas. As topologias de rede emalhadas, de forma irregular, são as mais eficientes, tendo em conta os encaminhamentos que é necessário assegurar, e respectivas quantidades de tráfego previstas.

Por outro lado, há que ter em conta que a rede fixa suporta cada vez mais tráfego de dados: este tipo de tráfego tem crescido de tal forma que ultrapassou já o tráfego de voz a nível mundial. Os nós das redes de dados (encaminhadores ou *routers*) organizam-se em topologias emalhadas, pelo que as redes de transporte tendem a seguir os requisitos de interligação do tráfego que transportam, evitando nós intermédios excessivos.

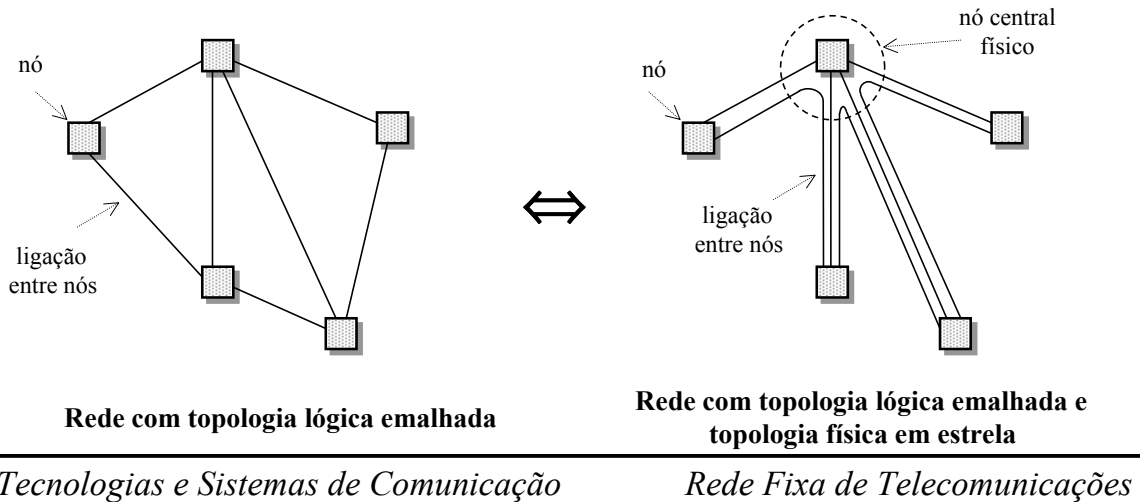
Arquitectura da rede

Topologia emalhada

Topologia lógica e física

– a topologia lógica e a topologia física não têm que ser idênticas
– a topologia física em árvore é dominante
– é possível adaptar diversos tipos de topologia lógicas à topologia física em estrela

Rede com topologia lógica emalhada

Rede com topologia lógica emalhada e topologia física em estrela

A topologia física corresponde à organização do meios físicos de transmissão.

Por outro lado, a topologia lógica refere-se à organização das ligações entre os nós de comutação.

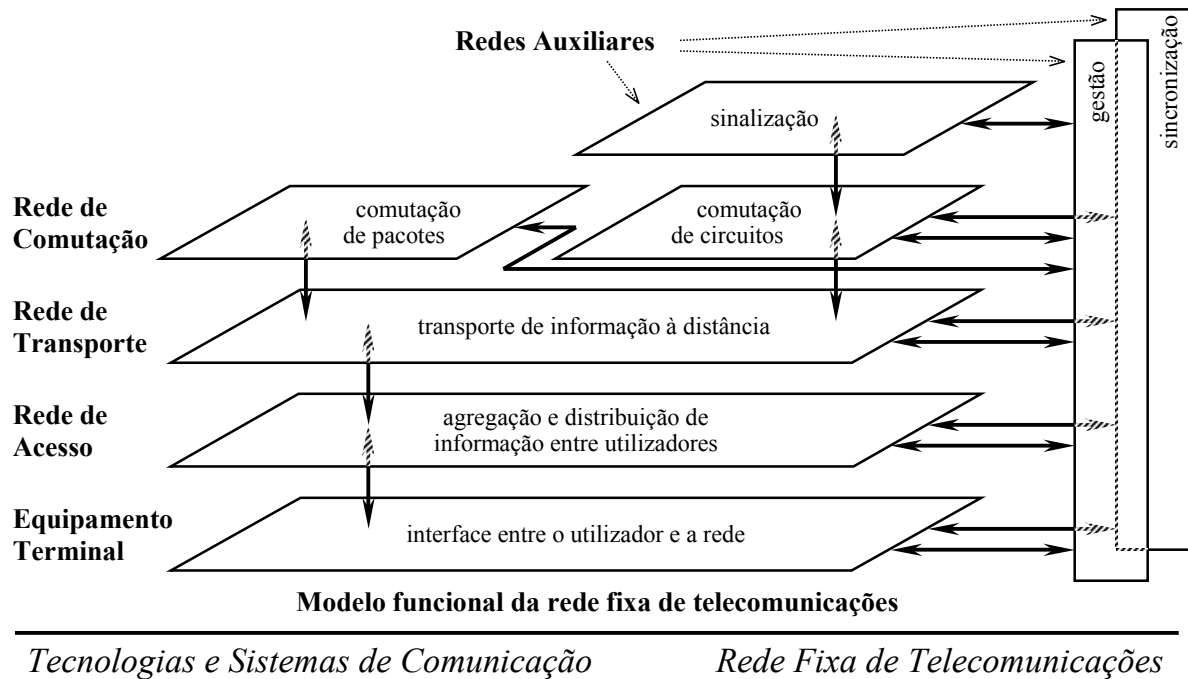
Com a topologia física em estrela, a soma total dos comprimentos das ligações físicas é superior à que se encontraria se topologia física correspondesse directamente à topologia lógica. Contudo, como várias ligações partilham caminhos comuns, o indicador mais relevante é a soma total de caminhos físicos que, como se pode observar, é menor com a topologia física em estrela.

Arquitectura da rede

Modelo de camadas

– cada camada corresponde a uma área funcional da rede

Modelo funcional da rede fixa de telecomunicações

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

As redes de acesso, transporte e comutação fornecem a capacidade básica de transferência da informação entre equipamentos terminais.

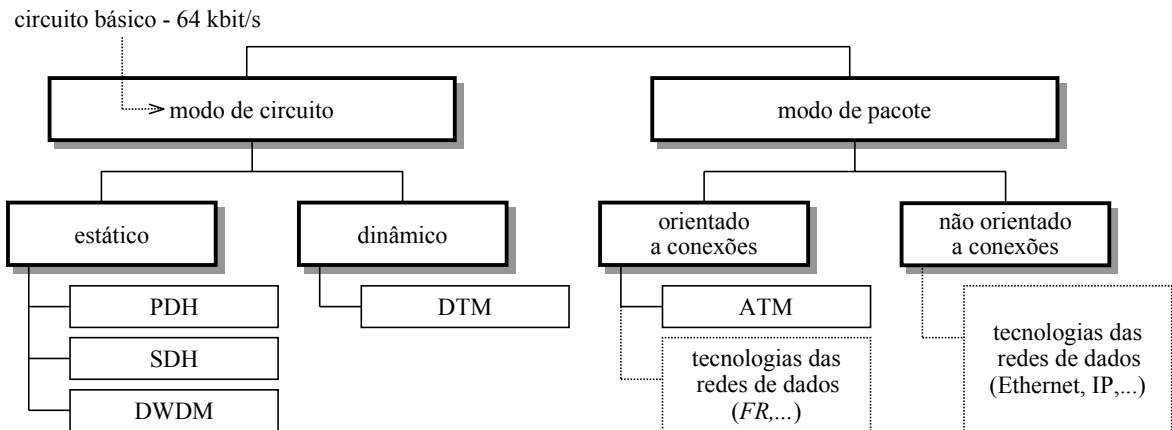
As redes auxiliares de sincronização e sinalização asseguram funções complementares essenciais à rede de acesso, rede de transporte e rede de comutação de circuitos, enquanto que a rede de gestão constitui uma camada transversal que permite operar, administrar e manter a rede de forma adequada.

Cada camada da rede fixa de telecomunicações está associada a uma área funcional, corresponde a um conjunto de funções comuns desempenhadas pelos sub-sistemas da rede.

Na secção seguinte, faremos uma breve descrição de cada uma destas áreas, enumerando as principais funções e analisando os principais sistemas constituintes.

Arquitectura da rede

Tecnologias de suporte

– utilizadas directamente sobre o nível físico de transmissão
– possíveis algumas combinações entre estas tecnologias

Tecnologias da rede fixa de telecomunicações

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

As tecnologias de suporte utilizadas nas redes de acesso, de transporte e de comutação serão brevemente referidas nesta secção, deixando o seu estudo detalhado para mais tarde (nesta disciplina ou na disciplina de CDRC 1).

Algumas destas tecnologias são utilizadas em conjunto, quer por oferecerem vantagens específicas para o sistema global, quer ainda por questões de evolução.

Alguns exemplos:

- PDH sobre SDH
- SDH sobre DWDM
- DTM sobre SDH
- ATM sobre PDH
- ATM sobre SDH
- ATM sobre DWDM
- IP sobre ATM
- IP sobre DWDM
- Ethernet sobre SDH
- Ethernet sobre DWDM

Significado das siglas:

- PDH *Plesiochronous Digital Hierarchy*
- SDH *Synchronous Digital Hierarchy*
- DWDM *Dense Wavelength Division Multiplexing*
- DTM *Dynamic Synchronous Transfer Mode*
- ATM *Asynchronous Transfer Mode*
- FR *Frame Relay*

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Funções

– ligação física entre terminais de assinante e nós locais (lacete de assinante)
– interligação entre redes privadas de assinante e nós locais
– concentração de linhas

Sistemas constituintes (exemplos)

– cabos de pares simétricos
– fios nus aéreos
– sistemas por radiocomunicações
– sistemas por fibra óptica
– sistemas por cabo coaxial
– concentradores remotos de assinante
– multiplexadores remotos de assinante

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A rede local de acesso agrega e distribui o tráfego entre os terminais de assinante e os nós locais.

Apesar de a distância de cada utilizador ao nó local ser, em média, de poucos quilómetros, a grande dispersão de utilizadores conduz a uma rede muito distribuída, com poucas possibilidades de partilha de recursos: há, por isso, um grande número de ligações físicas com reduzida utilização.

Este facto explica que a maior parte do investimento da rede fixa de telecomunicações esteja precisamente na rede local de acesso, envolvendo sobretudo obras de construção civil, condutas e cabos, ou, no caso dos sistemas via rádio, custos de equipamento elevados. Por isso, esta será a área onde mais dificilmente entrarão novos operadores, em concorrência com o operador da rede básica.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Tipos de acesso e respectivos suportes físicos

Tipo de acesso / Suporte físico	Acesso analógico	Acesso RDIS	Acesso digital de assinante	Acesso digital muito alto débito
Pares de cobre	Voz analógica	160 kbit/s 2 048 kbit/s	64 a 2 048 kbit/s 2 a 8 Mbit/s	25 a 50 Mbit/s
Ligações rádio		160 kbit/s 2 048 kbit/s	64 a 2 048 kbit/s 2 a 8 Mbit/s	25 a 50 Mbit/s
Fibras ópticas				34 Mbit/s 155 Mbit/s 622 Mbit/s
Cabos coaxiais	TV analógica			2 a 50 Mbit/s

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A tabela fornece uma panorâmica da variedade de alternativas de acesso de assinante.

Referem-se as soluções clássicas de voz e TV utilizadas em redes analógicas, bem como ligações digitais que usam diferentes tecnologias, algumas em uso há várias décadas, outras ainda em fase de normalização e introdução.

Acesso RDIS:

- inclui os acessos básico e primário já mencionados anteriormente.

Acesso digital de assinante:

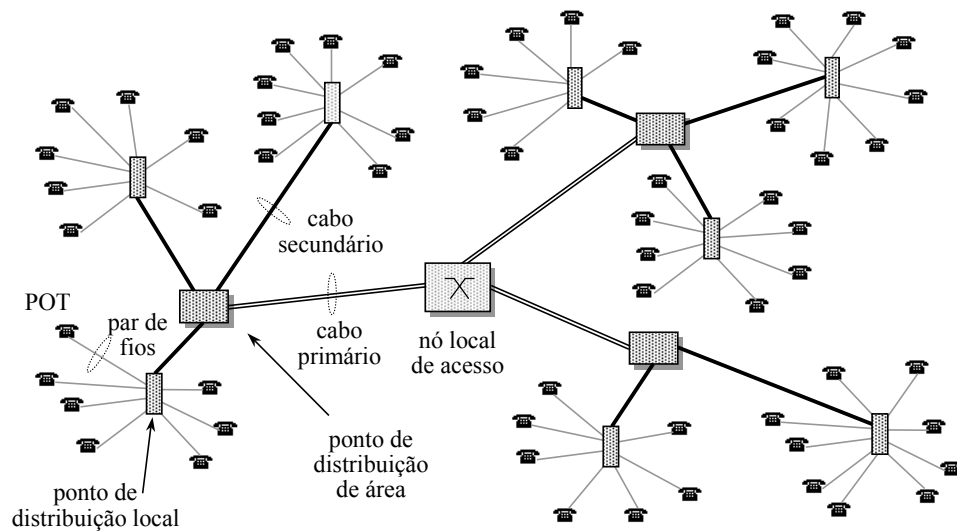
- as ligações de 64 a 2048 kbit/s ($p \times 64$ kbit/s) são usadas há vários anos, embora exijam a selecção de pares dentro do cabo e a eventual utilização de repetidores intermédios, para maiores distâncias;
- mais recentemente têm vindo a ser utilizadas novas técnicas de transmissão digital sobre pares simétricos (DSL, *Digital Subscriber Line*), que permitem atingir distâncias razoáveis sem repetidores, elevando igualmente o débito de transmissão no caso de ser utilizada uma opção assimétrica - ADSL, *Asynchronous Digital Subscriber Line* (maior débito da central para o assinante);
- o acesso fixo de rádio (FWA, *Fixed Wireless Access*) suporta-se em microondas, permitindo aplicações de baixo débito (64 a 2 048 kbit/s) e de alto débito (por exemplo, entre 2 e 8 Mbit/s).

Acesso digital de muito alto débito:

- a utilização de fibras ópticas até ao assinante permite débitos muito elevados, mas tem custos muito altos.
- a alternativa mais comum consiste em levar os serviços em fibra até próximo do assinante e, a partir desse ponto disponibilizar acessos mais económicos em pares de cobre (usando técnicas DSL), via rádio ou por cabo coaxial.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso telefónico analógico

Rede local de acesso de assinante: ligações analógicas por pares simétricos

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

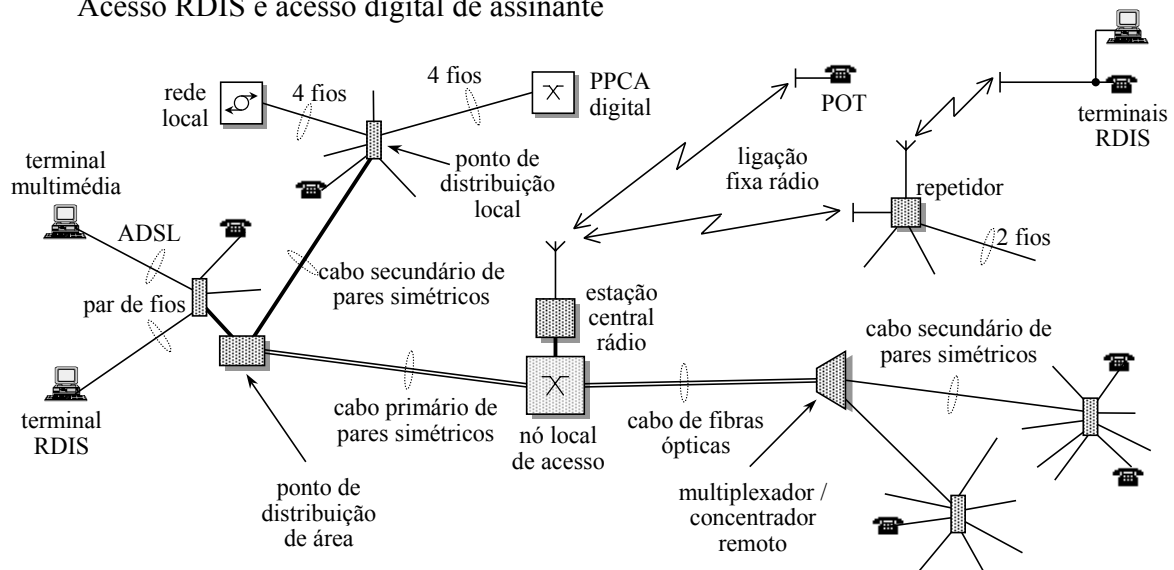
A rede de acesso da rede telefónica convencional é constituída exclusivamente por pares simétricos.

As redes urbanas são de tipo arborescente, com ramos constituídos por cabos que agrupam um número elevado de pares entre a central e pontos de distribuição de área, e cabos de menor capacidade entre estes e pontos de distribuição locais.

A ligação entre os pontos de distribuição locais e a tomada do equipamento de assinante faz-se muitas vezes por linha aérea nas fachadas dos prédios, sendo, no entanto, utilizadas condutas em instalações mais recentes.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso RDIS e acesso digital de assinante

Rede local de acesso de assinante: ligações digitais sobrepostas a ligações analógicas

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A introdução de sistemas digitais na rede de acesso permitiu, entre outras vantagens, rentabilizar meios e oferecer serviços digitais aos assinantes.

Assim, a ligação de PPCAs digitais às centrais públicas digitais faz-se normalmente sobre ligações a 2 Mbit/s (mais exactamente 2 048 kbit/s), correspondentes a 32 canais a 64 kbit/s, dos quais 30 destinados a comunicações entre utilizadores, um canal de sinalização e um canal de sincronização e controlo. O utilizador pode subscrever a totalidade dos 30 canais disponíveis ou uma parte deles (por exemplo, metade, ou seja, 15 canais).

Noutras aplicações de comunicação de dados recorre-se igualmente a circuitos digitais com débitos entre os 64 kbit/s e os 2 Mbit/s, com possibilidade de aumentar este último limite utilizando as técnicas DSL.

Por outro lado, sistemas de multiplexagem e transmissão digital têm vindo gradualmente a substituir os cabos de maior capacidade na ligação da central local a pontos de distribuição da rede local, mantendo-se contudo o troço final do lacete local em cobre. Nas ligações de pequena capacidade os pares simétricos suportam directamente sistemas a 2 Mbit/s: com a multiplexagem temporal, 30 assinantes que requeriam 30 pares passam a utilizar apenas 2 pares (um para cada sentido da transmissão digital). Em sistemas de maior capacidade terão de ser utilizadas fibras ópticas. Estes multiplexadores remotos de assinante, como são designados, podem ter funções de concentração quando se pretende rentabilizar ainda mais os meios de transmissão. Isto é, como cada linha de assinante tem uma baixa ocupação média, é possível multiplexar um certo número de linhas para um número menor de canais digitais que se ligam à central local, à custa da introdução de uma certa probabilidade de bloqueio.

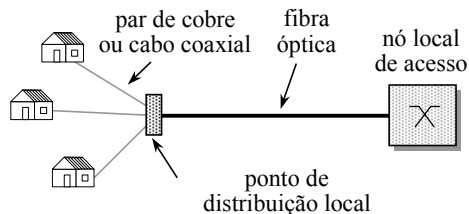
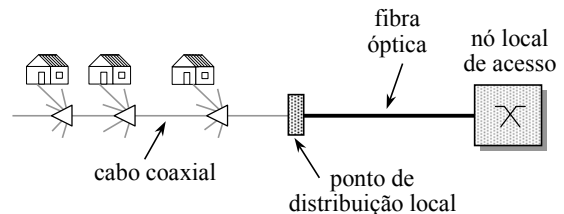
A RDIS estendeu, pela primeira vez, a fronteira digital a todos os assinantes, permitindo ligar directamente equipamentos digitais sem ter de recorrer a modems.

Os acessos fixos via rádio estão igualmente a ser introduzidos, uma vez que proporcionam ligações sem recorrer a trabalhos morosos e dispendiosos de instalação de cablagem.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso digital de muito alto débito

- fibra até à casa (FTTH, *Fibre To The Home*) ← solução futura
- fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC, *Fibre To The Curb*)
- híbrido fibra-coaxial (HFC, *Hybrid Fiber Coax*)

Fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC) **Híbrido fibra-coaxial (HFC)**

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Muitos serviços avançados, como o vídeo a pedido, exigem débitos elevados, sendo necessário disponibilizar sistemas de transmissão ópticos.

A solução FTTH seria a mais natural, em que a fibra se estendia directamente da central ao assinante. O problema é o elevado custo, só aceitável para assinantes empresariais de grandes dimensões, com elevados requisitos de tráfego: o serviço telefónico de um grande número de utilizadores internos poderia justificar, só por si, tal método de acesso (por exemplo, o caso comum de uma sede de uma instituição bancária com centenas de empregados).

A alternativa FTTC é muito mais económica, uma vez que a fibra chega apenas ao ponto de distribuição local. A partir desse ponto é utilizada uma configuração em estrela em cabo coaxial ou pares simétricos. O cabo dispõe de uma grande largura de banda e é relativamente imune a interferências, pela acção de blindagem do condutor exterior. No caso dos pares de cobre, são igualmente possíveis débitos relativamente elevados, da ordem de vários Mbit/s, na medida em que a distância do terminal ao ponto de distribuição local é possivelmente da ordem dos 100 m, em contraste com os 3 km ou mais, típicos do lacete local completo (do assinante à central local). No entanto, a distorção linear na banda utilizável é elevada e as interferências são inevitáveis, por não existir blindagem, o que contribui para que os emissores/receptores sejam mais complexos do que no caso do cabo coaxial.

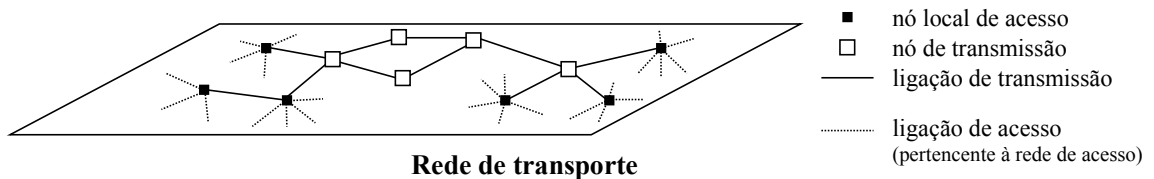
A configuração HFC é a mais utilizada nas redes de difusão de TV por cabo (CATV), em que um cabo coaxial constitui um meio partilhado que permite uma configuração de comunicação ponto a multiponto. Ao longo do cabo vão sendo colocados amplificadores que permitem a distribuição aos assinantes com um bom isolamento.

Nalgumas destas redes já são oferecidos serviços interactivos de dados (por exemplo, acesso à Internet) e mesmo telefónicos, em concorrência com os operadores convencionais. No entanto, no caso da configuração HFC, é mais difícil suportar o canal de retorno, sendo necessário adoptar um protocolo de acesso adequado, como o utilizado nas redes locais Ethernet.

Áreas funcionais da rede

Rede de transporte

Funções
- provisão de conexões para transmissão de informação a média/longa distância — sob controlo do operador da rede através de procedimentos de gestão
- objectivo de qualidade: minimizar perturbações do sinal
- granularidade típica: 2 Mbit/s / células ATM

Sistemas constituintes
- nós de multiplexagem - PDH, SDH, ATM
- nós de interligação - SDH, ATM
- sistemas de transmissão em cobre
- sistemas de transmissão por feixes hertzianos terrestres e por satélite
- sistemas de transmissão por fibra óptica

Rede de transporte

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A rede de transporte fornece os caminhos de transferência de informação entre os nós da rede de comutação.

É constituída por ligações de transmissão e por nós de transmissão, localizados nas extremidades das ligações.

As ligações suportam a transmissão de canais físicos de débito mais ou menos elevado - normalmente maior ou igual a 2 Mbit/s.

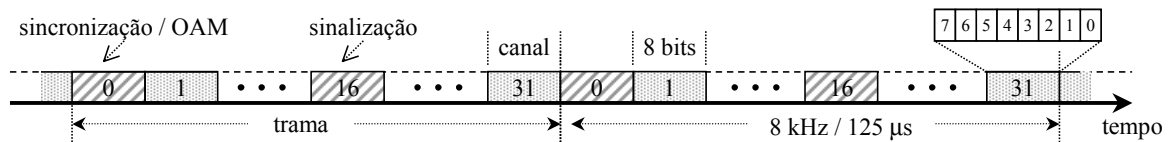
Nos nós de transmissão (estações de trânsito) são estabelecidas conexões permanentes entre os canais físicos das ligações. Estas conexões são, na realidade, semi-permanentes, isto é, são alteráveis esporadicamente, recorrendo a **procedimentos de gestão** controlados pelo operadora da rede.

Desta forma, o operador da rede estabelece uma capacidade básica de transporte de informação, de acordo com a quantidade de tráfego que prevê seja necessário transportar.

Áreas funcionais da rede

Rede de transporte

Sistema E1 (2 Mbit/s)

- sistema básico de transporte de informação numa rede digital
- suporta 30 canais de 64 kbit/s para comunicação de utilizador

Número de intervalos de tempo da trama	$c = 32$
Número de bits de cada canal	$n = 8$
Frequência / Período da trama	$f = 8$ kHz / $T = 125$ μs
Débito binário de cada canal	$r = n\,f = 64$ kbit/s
Débito binário total do multiplex	$r_{tot} = c\,n\,f = 2\,048$ kbit/s

Formato de trama do sistema básico E1

São utilizadas técnicas de multiplexagem temporal determinística:

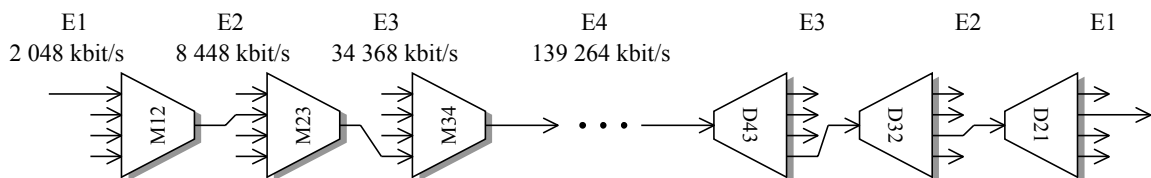
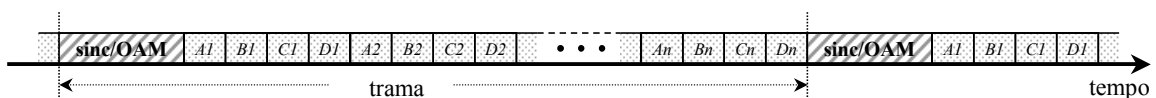
- definem-se tramas de *c* intervalos de tempo;
- cada canal ocupa ciclicamente na trama um intervalo de tempo de *n* bits ⇒ débito constante;
- um dos canais transporta um padrão fixo para ser utilizado na sincronização da recepção e canais de controlo (operação e manutenção / *Operation And Maintenance* - OAM).

A identificação dos canais é feita pela posição na trama: multiplexagem de posição.

Áreas funcionais da rede

Rede de transporte

Sistemas de Multiplexagem PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*)

– define vários níveis de multiplexagem a partir do sinal básico E1
– constituindo-se assim a hierarquia digital plesiócrona

Cadeia de multiplexagem / desmultiplexagem da Hierarquia Digital Plesiócrona

Formato de trama típico da multiplexagem de 4 tributários (*A*, *B*, *C*, *D*)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O termo plesiócrono (= quase síncrono) refere-se ao facto de se multiplexar sinais com o mesmo débito binário nominal, mas não necessariamente sincronizados entre si. Os sinais de entrada de um sistema de multiplexagem são designados de ***tributários***.

Note-se que o débito do sinal de saída de um dado nível de multiplexagem não é exactamente quatro vezes o débito de cada sinal de entrada do nível anterior: ao fazer a multiplexagem em cada nível, é preciso adicionar padrões de sincronização e canais de operação e manutenção e prever um certo adicional para contemplar as pequenas variações de débito dos sinais à entrada (os débitos binários nominais são iguais, mas os débitos efectivos podem diferir ligeiramente entre si).

A multiplexagem é executada por entrelaçamento de bits dos tributários, como mostra a figura (a notação *Cn*, por exemplo, refere-se ao bit *n* do canal *C*). Recorde que na trama do sinal E1 se faz, pelo contrário, o entrelaçamento de octetos dos diversos canais.

Os sinais multiplexados E1, E2, E3 e E4 são muitas vezes designados pelos respectivos débitos aproximados: 2 Mbit/s, 8 Mbit/s, 34 Mbit/s e 140 Mbit/s.

Áreas funcionais da rede

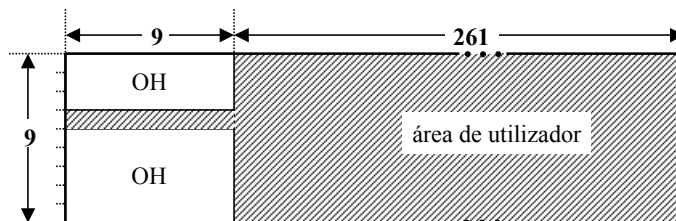
Rede de transporte

Sistemas de Multiplexagem SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*)

– define como estrutura base um módulo de transporte síncrono de alto débito
STM-1 / Synchronous Transport Module - Level 1

– permite débitos mais elevados por multiplexagem síncrona de módulos STM-1
STM-N / Synchronous Transport Module - Level N

– permite a inserção / remoção directa de tributários a partir do módulo STM-1

– suporta funcionalidades muito completas de operação e manutenção (OAM)

Formato de trama STM -1
($n = 270 \times 9 = 2\,430$ octetos / $f = 8$ kHz)

Hierarquia Digital Síncrona (SDH)	
Nível	**Débito (kbit/s)**
STM-1	155 520
STM-4	622 080
STM-16	2 488 320

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Tal como o sistema de multiplexagem PDH, a principal aplicação da hierarquia SDH é o transporte de sinais tributários E1, embora possa igualmente transportar outros tributários.

O nível mais baixo desta hierarquia é o chamada módulo STM-1, que corresponde a um débito de 155 520 kbit/s (trama de 2 430 octetos com uma frequência de 8 kHz). A trama exibe uma estrutura regular normalmente visualizada num formato rectangular - a transmissão é série, sendo os bits dos octetos enviados sucessivamente da esquerda para a direita em cada linha, percorrendo as linhas de cima para baixo (tal qual se lê um texto).

A hierarquia SDH permite efectuar a multiplexagem directa dos tributários (E1 ou outros) no módulo STM-1, através de um mapeamento regular na trama, de forma a simplificar a inserção ou remoção desses tributários. Além disso, prevêem-se canais adicionais associados ao módulo STM-1 e a cada um dos tributários (adicional / *overhead* - OH) para suportar funções de operação e manutenção (OAM), nomeadamente: detecção de erros, monitoração de estado da rede, indicação do tipo de tributários, controlo de configuração de ligações e outras funções que exigem comunicação entre elementos da rede.

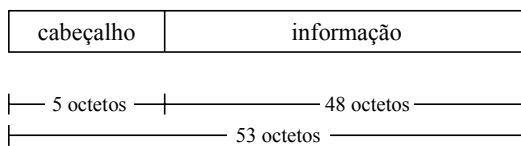
As vantagens de SDH conduzirão a uma progressiva utilização relativamente a PDH.

A hierarquia SDH exige uma sincronização global da rede, para permitir a multiplexagem síncrona de módulos STM: isto é, não pode haver qualquer desvio de frequência entre módulos multiplexados entre si. Este requisito foi possível de satisfazer na medida em que, com o desenvolvimento da comutação digital, como veremos, já foi necessário assegurar a sincronização global das centrais. Existe, portanto, uma rede de sincronização de centrais que pode ser estendida para sincronizar os sistemas de transmissão SDH.

Áreas funcionais da rede

Rede de transporte

Modo de Transferência Assíncrono (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*)

- – novo processo básico de transferência de informação ← TDM assíncrono
- – combina características do modo circuito e do modo pacote
- – informação encapsulada em células com um comprimento fixo
- – cabeçalho referencia o canal (virtual) a que pertence a célula
- – vários tipos de células: informação de utilizador, sinalização, OAM

Funções do cabeçalho

- identificação de canais virtuais
- alinhamento de células
- indicação do tipo de célula
- prioridades
- controle de erros no cabeçalho

Estrutura de uma célula ATM e funções do cabeçalho

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O modo ATM permite operar a muito mais altas velocidades do que o modo tradicional de pacote tendo em conta as simplificações introduzidas, nomeadamente o comprimento fixo das células e as funcionalidades mínimas de rede (ex: não existe protecção contra erros ou controlo de fluxo).

O modo ATM é orientado a conexões, permitindo o suporte muito flexível de serviços de débito constante e de débito variável, de tempo real ou não tempo real.

Os débitos propostos para ATM são 155 Mbit/s e 622 Mbit/s, tal como na hierarquia SDH. Outros débitos, maiores ou menores, são possíveis e têm vindo a ser utilizados.

A transmissão em ATM pode ser feita como um fluxo contínuo de células, isto é, sem nenhuma estrutura de trama de suporte. Em alternativa, as células ATM podem ser transportadas em módulos SDH.

Áreas funcionais da rede

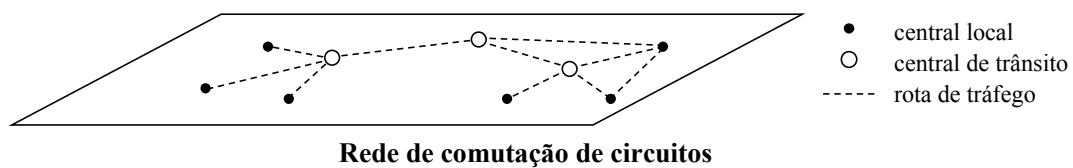
Rede de comutação de circuitos

Funções

– estabelecimento e libertação de chamadas
– encaminhamento e supervisão de chamadas
– concentração / expansão de circuitos
– granularidade típica: 64 kbit/s

a pedido do utilizador através de procedimentos de sinalização

Sistemas constituintes

– centrais de comutação locais
– centrais de comutação de trânsito regional e interurbano
– rotas de tráfego

Rede de comutação de circuitos

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A rede de comutação de circuitos permite o estabelecimento de circuitos extremo a extremo, a pedido, para a transferência de informação entre quaisquer dois pontos terminais da rede.

É constituída por:

- nós (centrais) de comutação - pontos onde são estabelecidos circuitos a pedido dos utilizadores;
- rotas de tráfego - caminhos suportados sobre a rede de transporte.

As conexões que suportam os circuitos são estabelecidas (e libertadas) dinamicamente, chamada a chamada, através de **procedimentos de sinalização**, controlados pelos utilizadores. Este aspecto da rede de comutação contrasta com a rede de transporte, onde, como foi referido anteriormente, as conexões têm um carácter semi-permanente, sendo estabelecidas pelo operador de rede, através de **procedimentos de gestão**.

Ou seja, os nós de comutação asseguram o estabelecimento (e libertação) de circuitos elementares, normalmente a 64 kbit/s, sobre os quais se faz a comunicação extremo a extremo; por sua vez, a rede de transporte é a verdadeira "auto-estrada da informação", em cujos nós se faz o encaminhamento de grandes blocos de circuitos, permitindo estabelecer, nomeadamente, as rotas de tráfego entre centrais.

A rede pública telefónica comutada (PSTN - *Public Switched Telephone Network*) usa, como vimos, este tipo de comutação.

Áreas funcionais da rede

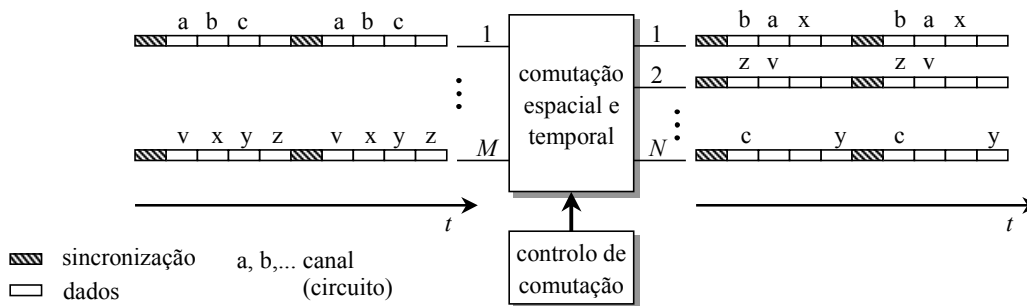
Rede de comutação de circuitos

Matrizes de comutação de circuitos

– comutação de circuitos digital

- as entradas e saídas são ligações multiplexadas TDM ← geralmente ligações E1
- a comutação consiste na troca de intervalos de tempo (espacial e temporal)
- exige que todas as entradas estejam sincronizadas entre si

Comutação de circuitos digital

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A comutação digital é um processo de interligar intervalos de tempo entre um conjunto de ligações multiplexadas no tempo (TDM), suportadas, em geral, em estruturas de 32 intervalos de tempo a 2 048 kbit/s (ligações E1).

A comutação digital assenta em duas técnicas complementares:

– na comutação espacial, transfere-se a informação entre linhas de entrada e linhas de saída, do mesmo intervalo de tempo;

– na comutação temporal, transfere-se a informação entre intervalos de tempo.

As matrizes de comutação digital podem ser realizadas com um único andar, ou, no caso de sistemas de maior dimensão, recorrendo a vários andares.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

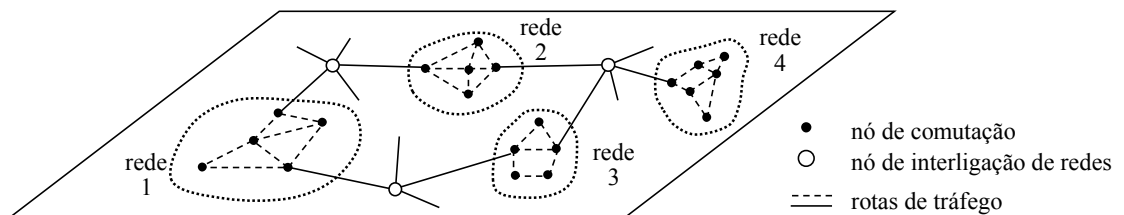
Funções

- estabelecimento, libertação e supervisão de conexões
- transferência de pacotes da origem ao destino
- concentração / expansão

> só nas redes orientadas a conexões

Sistemas constituintes

- comutadores de pacotes
- rotas de tráfego

> *switch:* nas redes orientadas a conexões
> *router:* nas redes sem conexões

Rede de comutação de pacotes (exemplo de uma *internet*)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A rede de comutação de pacotes é objecto de estudo de outras disciplinas, pelo que se faz aqui apenas uma breve referência, com o objectivo de evidenciar a sua articulação com a rede fixa de telecomunicações.

Esta rede permite suportar eficientemente a transmissão de dados com débitos variáveis, identificando-se dois tipos básicos, como vimos anteriormente:

- rede de comutação de pacotes com conexões (ex.: X.25, *Frame Relay*; ATM);
- rede de comutação de pacotes sem conexões (ex.: IP).

As redes com conexões:

- requerem o estabelecimento e libertação de conexões (**circuitos virtuais**) através de sinalização;
- os pacotes transportam apenas o identificador de conexão;
- o encaminhamento de pacotes é decidido quando o circuito virtual é estabelecido - todos os pacotes seguem a mesma rota.

As redes sem conexões:

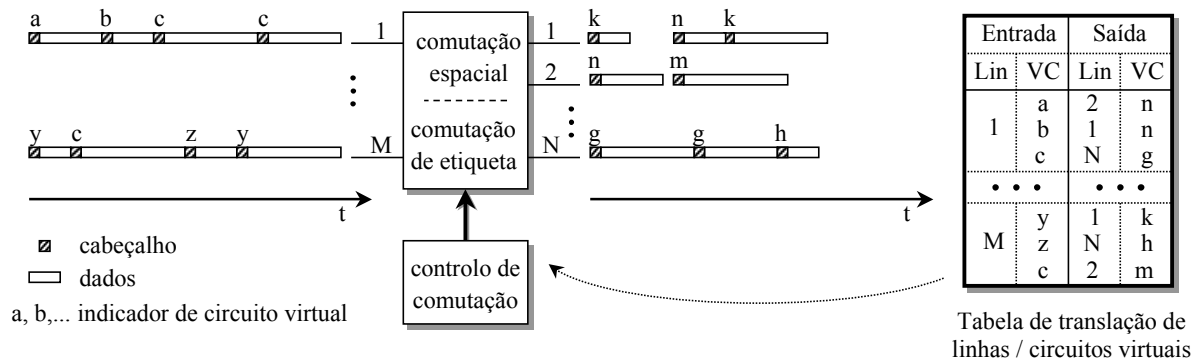
- não requerem o estabelecimento de conexões;
- todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino, designando-se, por isso, de **datagramas**;
- encaminham os pacotes de forma autónoma.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

Comutação de pacotes com conexões

– comutação espacial: transferem-se pacotes das entradas para as saídas

– comutação de etiqueta: os indicadores de circuito virtual nos cabeçalhos são modificados

Comutação de pacotes (rede com conexões)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação   *Rede Fixa de Telecomunicações*

Nos nós de comutação de uma rede orientada a serviços com conexões, é necessário modificar o indicador de circuito virtual antes da transmissão para o nó seguinte, uma vez que, de um modo geral, os indicadores são referências que têm apenas significado local na ligação entre dois nós (numa rede desenvolvida, seria impossível ter referências universais). Este mecanismo é designado de comutação de etiqueta.

Diz-se, então, que a comutação de etiqueta das redes em modo de pacote corresponde à comutação temporal (de posição) das redes em modo de circuito. Note-se que a dimensão tempo não poderia ser utilizada para identificar os pacotes, uma vez que há alterações temporais variáveis, resultantes de atrasos nas filas de espera.

Os circuitos virtuais e respectivos indicadores são definidos na fase de estabelecimento de cada conexão, actualizando-se então as tabelas de translação, de forma análoga ao que sucede no modo de circuito.

A sinalização necessária para o estabelecimento de conexões é suportada em pacotes transportados sobre a própria rede de comutação de pacotes, não sendo por isso necessária uma rede de sinalização própria, como ocorre em redes de comutação de circuitos.

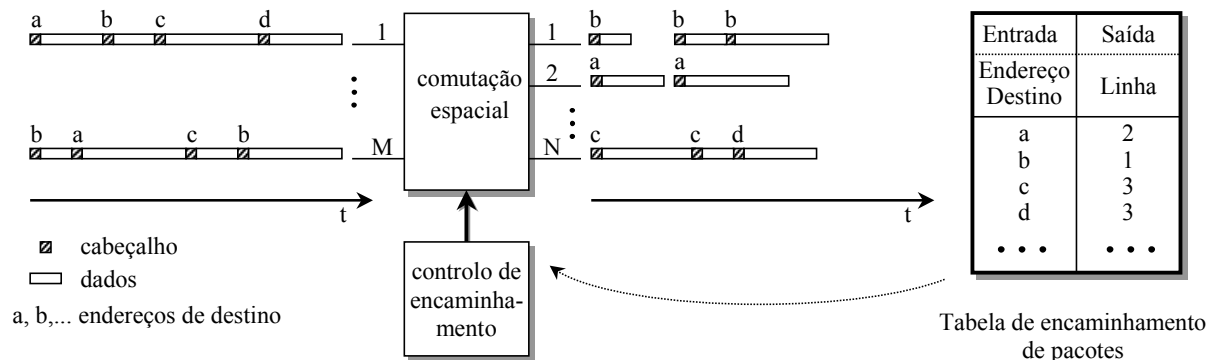
Um caso particular deste tipo de comutação ocorre com a tecnologia ATM, com a particularidade de os pacotes se designarem de células e terem um comprimento fixo.

Áreas funcionais da rede

Rede de comutação de pacotes

Comutação de pacotes sem conexões

– só há comutação espacial de pacotes

– os cabeçalhos não são modificados

Comutação de pacotes (rede sem conexões)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

No caso de uma rede orientada a serviços sem conexões, os nós de comutação não alteram a informação de endereço contida em cada pacote: após a recepção, os pacotes são apenas armazenados e enviados (*store and forward*) de acordo com o endereço de destino presente no cabeçalho.

Por isso, neste caso, usa-se para o nó a designação mais apropriada de encaminhador (*router*).

Áreas funcionais da rede

Rede de sinalização em comutação de circuitos

Funções

- troca de informação de controlo entre
  - assinante e central local
  - centrais interligadas por rotas de tráfego
- suporte de serviços de rede inteligente

estabelecimento, gestão e libertação de chamadas

Sistemas constituintes

- nós de sinalização
- ligações de dados entre os nós

origem e terminação de sinalização
encaminhamento de sinalização
bases de dados de controlo de serviços

Tipos de sistemas de sinalização

- sinalização por canal associado — um canal de sinalização para cada canal de comunicação
- sinalização por canal comum — um único canal de sinalização para múltiplos canais de comunicação

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

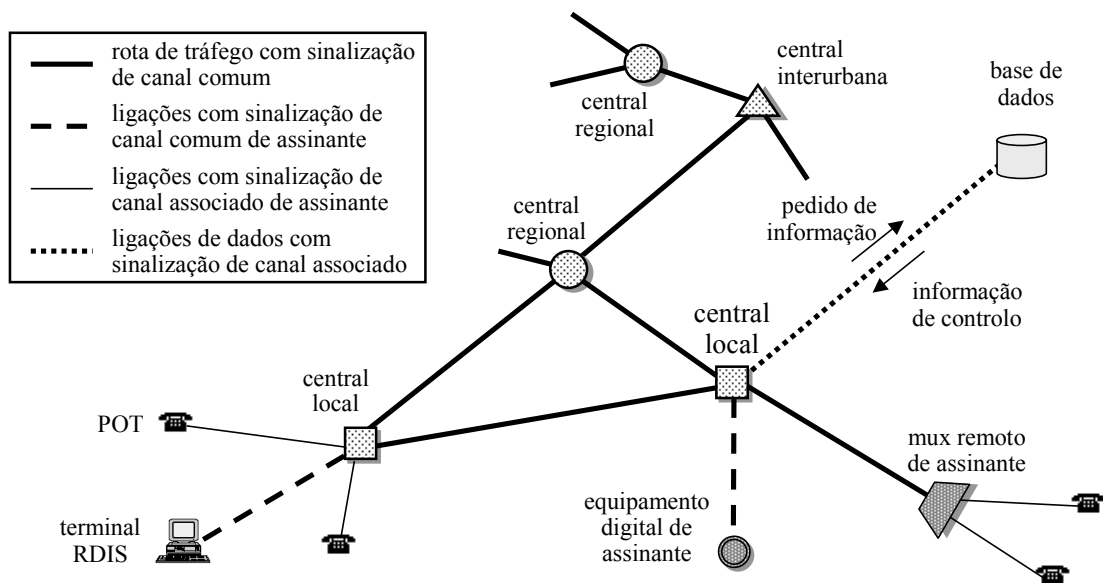
A rede de sinalização é a infraestrutura básica de comunicação de informação de controlo que assegura o fornecimento de serviços numa rede de comutação de circuitos - a sua função básica é permitir estabelecer e libertar circuitos extremo a extremo, para suportar chamadas com as características requeridas pelos utilizadores.

Mais recentemente, a rede de sinalização passou igualmente a suportar serviços de rede inteligente (IN, *Intelligent Network*), que exigem, nomeadamente, a translação de números. Por exemplo, a rede de sinalização fornece os mecanismos que permitem converter números verdes, não geográficos, em números geográficos da rede fixa, com os respectivos prefixos de área, o que, por sua vez, permite o encaminhamento das chamadas pelas centrais de comutação.

Este conceito de rede inteligente é igualmente fundamental para suportar a mobilidade em redes de rádio celular, disponibilizando-se de forma equivalente a informação de localização dos terminais móveis.

Refira-se ainda que a infraestrutura de comunicação de dados que suporta a rede de sinalização por canal comum é igualmente utilizada pela rede de gestão.

Áreas funcionais da rede

Rede de sinalização em comutação de circuitos

Aplicação dos vários tipos de sistemas de sinalização em comutação de circuitos

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A sinalização de canal associado já foi utilizada entre nós de comutação, encontrando-se, neste momento obsoleta. É utilizada apenas na rede local.

A sinalização de canal comum é, portanto, o sistema universal de comunicação de dados adoptado para transferência de informação de controlo entre nós de comutação. Além disso, a sinalização de canal comum suporta os serviços de rede inteligente através de procedimentos de consulta a bases de dados. Por exemplo, no caso de translação de números verdes, uma base de dados de serviço é inquirida e disponibiliza o número geográfico para o qual a chamada deve ser encaminhada. No suporte à mobilidade, a base de dados associada à rede móvel indica a área geográfica onde se localiza, no momento da chamada, o terminal móvel do assinante destinatário.

A RDIS introduziu um tipo de sinalização de canal comum idêntico ao utilizado entre nós de comutação, estendendo assim as capacidades de troca de informação de controlo até ao próprio utilizador, Esta evolução veio a permitir o suporte de um vasto número de facilidades adicionais impensáveis no acesso convencional analógico.

Áreas funcionais da rede

Rede de sincronização

Funções

– distribuição do relógio de uma ou mais fontes de referência para os nós das redes de transporte (SDH) e comutação (centrais de comutação de circuitos)

Sistemas constituintes

– nós de sincronização: unidades de temporização
  - relógios de referência primária (PRC)
  - relógios escravos dos nós da rede de transporte e comutação
  - relógios escravo de assinante

– ligações de sincronização entre nós
  - ligações E1 (2 048 kbit/s) de sincronização
  - transmissão de um sinal de relógio (2 048 kHz) de sincronização

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A rede de sincronização destina-se a evitar as diferenças de relógio entre ligações dos nós de comutação, que teria como consequência a introdução de erros (perda ou repetição da informação).

Este requisito implica que toda a rede deverá estar sincronizada entre si, utilizando-se normalmente um relógio de referência (ou vários) de grande qualidade.

Áreas funcionais da rede

Rede de sincronização

relógio de referência primária

PRC

RE - Relógios Escravo

CI comutador interurbano

CR comutador regional

CL comutador local

relógios dos nós da rede de trânsito interurbano (I) / regional (R)

Ligações E1 / 2 048 kHz

ligação prioritária de sincronização

ligação alternativa de sincronização

ligação com diversidade de rota

ligação sem diversidade de rota

relógios dos nós da rede local (L)

relógios de assinante

muxs remotos / assinantes digitais / redes privadas

Rede de sincronização dos nós de comutação

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A opção mais utilizada para a rede de sincronização é uma estrutura hierárquica que segue aproximadamente a estrutura da própria rede de comunicação.

O relógio é transportado, de uma maneira geral, por ligações de tráfego sobre o sinal E1.

Um dos requisitos mais importantes da rede de sinalização é possuir uma elevada fiabilidade. Entre outras medidas, disponibilizam-se ligações alternativas e ligações com diversidade de rota (isto é, ligações entre dois pontos com caminhos distintos).

Áreas funcionais da rede

Rede de gestão

Funções

– gestão de configuração da rede
– gestão de falhas
– gestão de desempenho
– gestão de contabilidade
– gestão de segurança

Sistemas constituintes

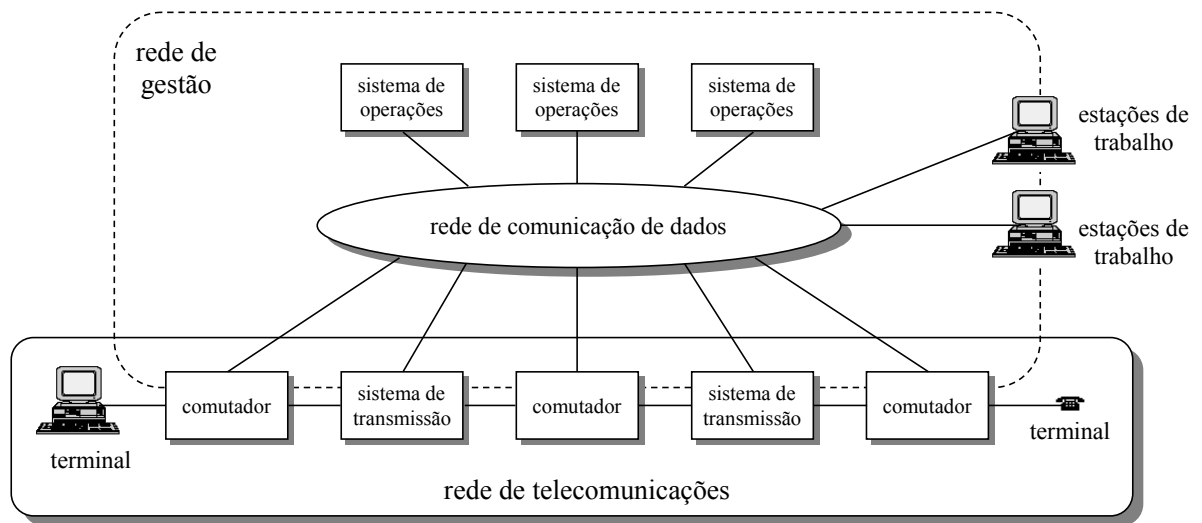
– sistemas de operações: processamento da informação
– elementos da rede de telecomunicações: objectos da gestão
– rede de comunicação de dados: assente sobre a rede de sinalização
– estações de trabalho: acesso pelo pessoal de operações e utilizadores

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Com o desenvolvimento e complexidade crescentes das redes de telecomunicações, e simultaneamente com a necessidade de os operadores de telecomunicações oferecerem uma qualidade de serviço adequada, assume especial importância a disponibilização de um sistema eficaz de gestão que suporte as actividades de Operação, Administração, Manutenção & Provisão (OAM&P).

O conceito de rede de gestão assenta nas seguintes características:

- comunicação de dados de gestão através de uma rede que interliga os vários tipos de sistemas de operações e equipamentos de telecomunicações a gerir;
- distribuição de funcionalidades de gestão pelos vários sistemas de operações, permitindo a implementação de uma gestão centralizada, integrada e automatizada de uma grande área de rede e serviços.

Áreas funcionais da rede

Rede de gestão

Conceito de rede de gestão

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

As funções de gestão podem ser implementadas segundo várias configurações físicas, muitas vezes condicionadas pelos cenários de introdução gradual de facilidades de gestão.

Numa fase avançada de desenvolvimento, pode definir-se uma arquitectura simplificada constituída pelos seguintes componentes:

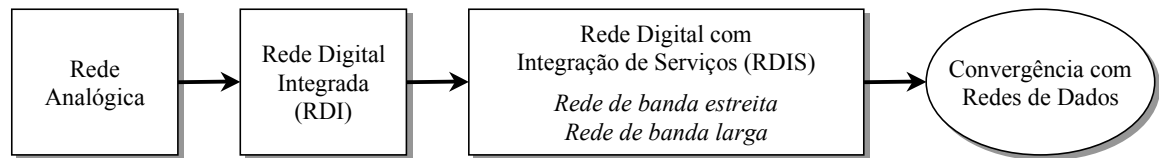
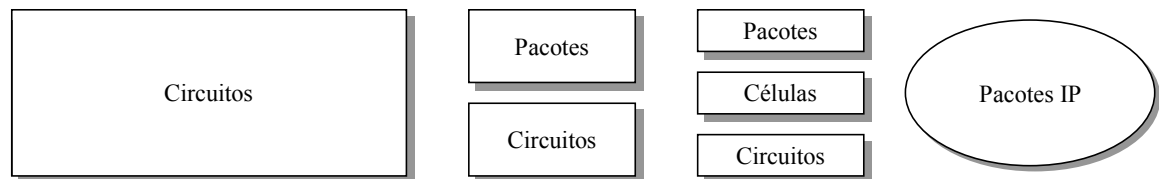
- sistemas de operações: é responsável pelas funções de OAM&P colocadas à disposição de utilizadores.
- elementos de rede: conjunto de equipamentos da rede de telecomunicações, com capacidades de monitorização e controlo.
- rede de comunicação de dados: rede de dados baseada em protocolos normalizados, destinada a permitir a troca de informação de gestão entre os blocos funcionais da rede de gestão.
- estação de trabalho: executa funções de tradução de informação para um formato visualizável por utilizadores da rede de gestão.

Evolução da rede

Etapas tecnológicas

Caracterização das etapas tecnológicas

– um conjunto coerente de tecnologias

– modos específicos de transferência de informação

Etapas tecnológicas

Modos de transferência da informação

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A evolução da rede pode ser referida a grandes etapas tecnológicas, embora em certos períodos de tempo algumas delas tenham coexistido.

Nas 2 primeiras fases, o modo de circuito é exclusivo. Os circuitos asseguram, por natureza, canais de débito constante estabelecidos a pedido ou semi-permanentes.

A Rede Digital com Integração de Serviços suporta adicionalmente canais em modo pacote, isto é, usam-se protocolos de comunicação típicos das redes de dados.

A introdução da serviços de banda larga conduziu à adopção do novo modo de transferência da informação (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*), baseado no modo de pacote, mas com unidades de informação (células) de comprimento fixo. Certos serviços continuarão a ser suportados no modo de circuito ou no modo de pacote.

A visão actual é no sentido da convergência crescente com as redes de dados, sendo plausível uma evolução no sentido da adopção genérica do protocolo IP, utilizado já em larga escala na Internet. O suporte físico ao nível de transmissão continuarão a ser canais sobre os modos de transferência de circuito ou de célula.

Evolução da rede

Rede Digital com Integração de Serviços (RDIS)

Rede de banda estreita

– transmissão digital até ao utilizador
– integração ao nível de acesso para diferentes tipos de informação
– terminais multifuncionais
– serviços avançados

Rede de banda larga

– integração de todos os serviços, incluindo os de alto débito
– utilização generalizada de fibras ópticas na rede de transporte
– novas tecnologias de transmissão e comutação
  • modo de transferência ATM (*Asynchronous Transfer Mode*)
    operação optimizada para altas velocidades
    suporte flexível de diferentes serviços
  • linha digital de assinante (xDSL)
    aproveitamento optimizado da linha de acesso em cobre

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A RDIS permitiu um salto qualitativo no acesso de assinante, devendo a sua penetração aumentar significativamente nos próximos anos.

Contudo, as exigências futuras de aumento significativo dos débitos de transmissão e comutação, e uma maior flexibilidade de serviços, conduziu ao aparecimento da Rede Digital com Integração de Serviços de Banda Larga (RDIS-BL), baseada no modo de transferência assíncrona de informação (ATM, *Asynchronous Transfer Mode*).

A introdução de ATM tem vindo a ocorrer quer ao nível da rede de transporte de alta capacidade, quer na redes de acesso fixo de assinante (ADSL).

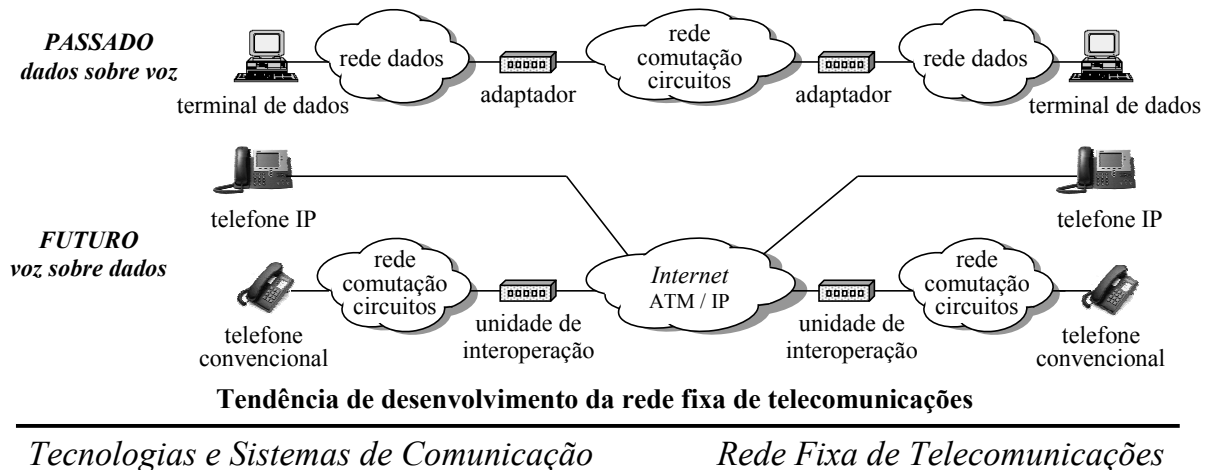
Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Inversão da importância relativa voz-dados

– crescimento acelerado de servidores Internet
– débitos mais elevados no acesso de utilizador (RDIS, DSL ou rede CATV)
– em 1998, o tráfego de dados ultrapassou o de voz a nível mundial
– o cenário seguinte é inevitável...

Tendência de desenvolvimento da rede fixa de telecomunicações

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

A tendência actual é no sentido de os serviços de telecomunicações, incluindo a telefonia, serem suportados numa base tecnológica comum, o que facilita os diversos níveis de integração de serviços: no terminal, no acesso, na transmissão, na comutação e na gestão da rede.

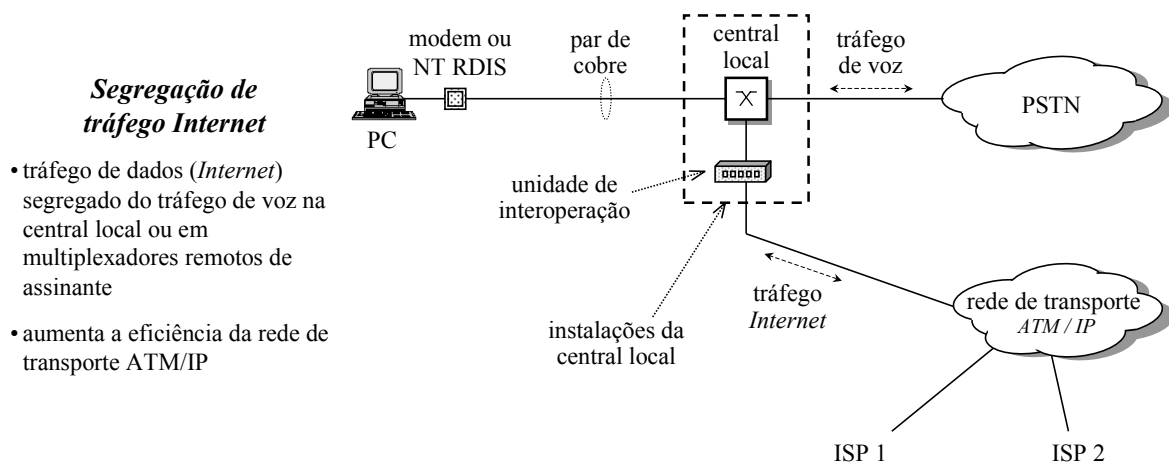
Há algum tempo, a tecnologia ATM foi considerada como candidata a desempenhar este papel. Contudo, a realidade acabou por se impor a este plano de desenvolvimento, e, neste momento, os protocolos da Internet têm todas as condições para se imporem o todos os serviços. Veja-se, por exemplo, os passos significativos que têm sido dados na área de telefonia sobre IP. Apesar disso, o ATM continua a ser uma tecnologia adequada ao nível do transporte, nomeadamente de pacotes IP ("IP sobre ATM").

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do acesso Internet → migração da rede comutada para rede IP

Segregação de tráfego Internet

- tráfego de dados (*Internet*) segregado do tráfego de voz na central local ou em multiplexadores remotos de assinante
- aumenta a eficiência da rede de transporte ATM/IP

Cenários de evolução do acesso Internet na rede fixa de telecomunicações (1)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

Actualmente, os acessos à Internet de utilizadores individuais ou pequenas empresas faz-se, em grande parte, sobre circuitos comutados estabelecidos até ao POP (*Point Of* Presence) mais próximo do ISP respectivo. Na maioria dos caos, é necessário ocupar um circuito de interligação por cada chamada, sem que tal resulte num aumento de receita, já que a chamada é normalmente taxada à tarifa local.

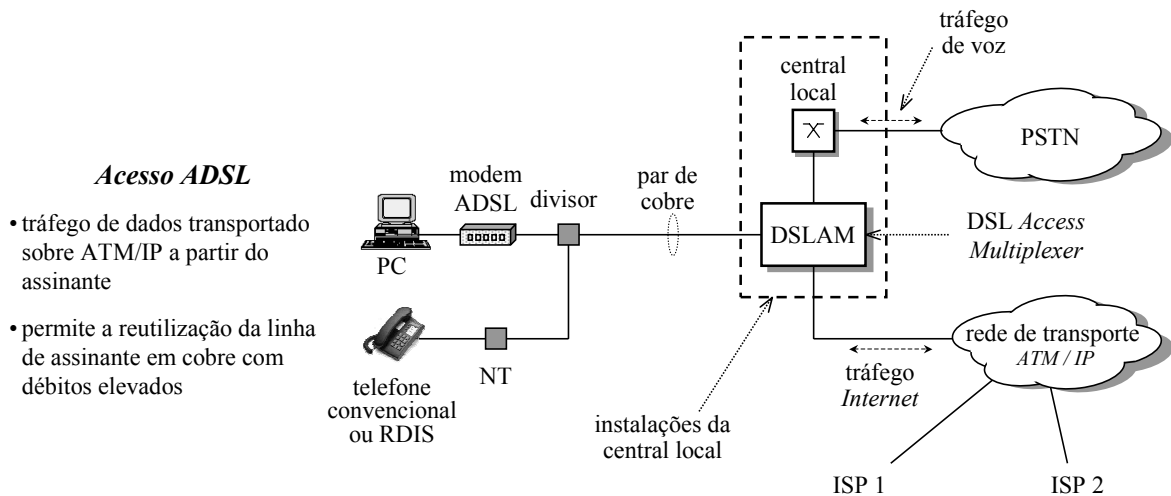
O cenário representado no diagrama resolve esta questão: a marcação, pelo utilizador, de um número de acesso à Internet dará lugar ao estabelecimento de um circuito através da central local, encaminhado para uma unidade de interoperação, através da qual se fará o ligação à rede de dados, nas próprias instalações da central local.

Em áreas onde existem multiplexadores remotos de assinante, poderá proceder-se de igual modo, encaminhando as chamadas de acesso à Internet para uma unidade de interoperação que fará a multiplexagem de pacotes sobre um único canal de dados de acesso à rede de transporte ATM/IP.

Desta forma, evitar-se-á a utilização ineficiente de circuitos de interligação para aceder aos ISPs (*Internet Service Providers*) - haverá multiplexagem estatística dos vários utilizadores sobre o mesmo canal de dados.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do acesso Internet → migração da rede comutada para rede IP

Cenários de evolução do acesso Internet na rede fixa de telecomunicações (2)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

No acesso ADSL, a comunicação faz-se normalmente em pacotes IP transportados sobre células ATM. No par de cobre do utilizador, o tráfego de dados ocupa uma banda colocada acima da banda ocupada pela telefonia analógica (ou RDIS), pelo que a disponibilização deste tipo de acesso não obriga à instalação de novos suportes físicos de transmissão.

Além disso, esta solução permite fornecer um acesso "sempre ligado" - não há necessidade de estabelecer um circuito para permitir a comunicação.

Uma solução equivalente tem vindo a ser disponibilizada pelos operadores de redes por cabo, em que um modem de cabo (*cable modem*) de assinante comunica com um sistema de terminação de modems de cabo (CMTS, *Cable Modem Termination System*), onde se fará a agregação do tráfego de dados de múltiplos assinantes.

Em qualquer destes cenários, a fronteira da rede de pacotes chega directamente ao utilizador, permitindo o transporte integrado de serviços sobre redes de dados, o que, especialmente no caso de utilizadores residenciais, representa um avanço significativo.

Na perspectivo dos operadores incubentes, isto é, que exploraram durante longos anos a rede básica de telecomunicações, a utilização generalizada de acessos à Internet por ADSL ou por cabo, em detrimento de acessos comutados, tem vindo a reduzir a enorme pressão que se estava a sentir em termos de sobrecarga dos comutadores locais.

Evolução da rede

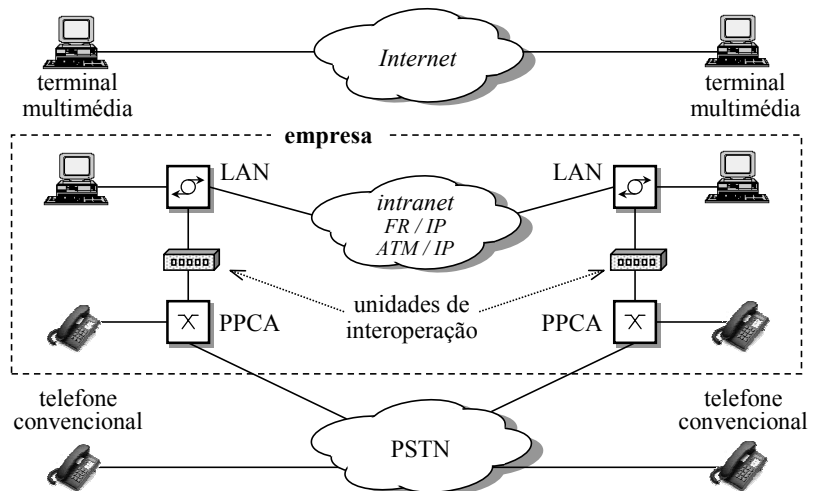
Convergência com redes de dados

Evolução do transporte de voz → migração da rede comutada para rede IP

Internet sem QoS

- ligações entre PCs pela Internet
- dificuldade de acesso à rede telefónica

Intranets de empresas

- interligação entre PPCAs através de redes IP e unidades de interoperação privadas
- acesso à rede telefónica pública através dos PPCAs

Cenários de evolução do transporte de voz na rede fixa de telecomunicações (1)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O transporte dos serviços convencionais de voz será progressivamente feito sobre as redes de dados, embora de forma faseada.

O cenário de telefonia pela Internet, embora isolado do resto da rede telefónica, é uma realidade desde 1995, quando foi demonstrada uma comunicação de voz com compressão envolvendo dois PCs com processadores a 33 MHz - o problema é a baixa qualidade de serviço (QoS) em situações de sobrecarga da rede.

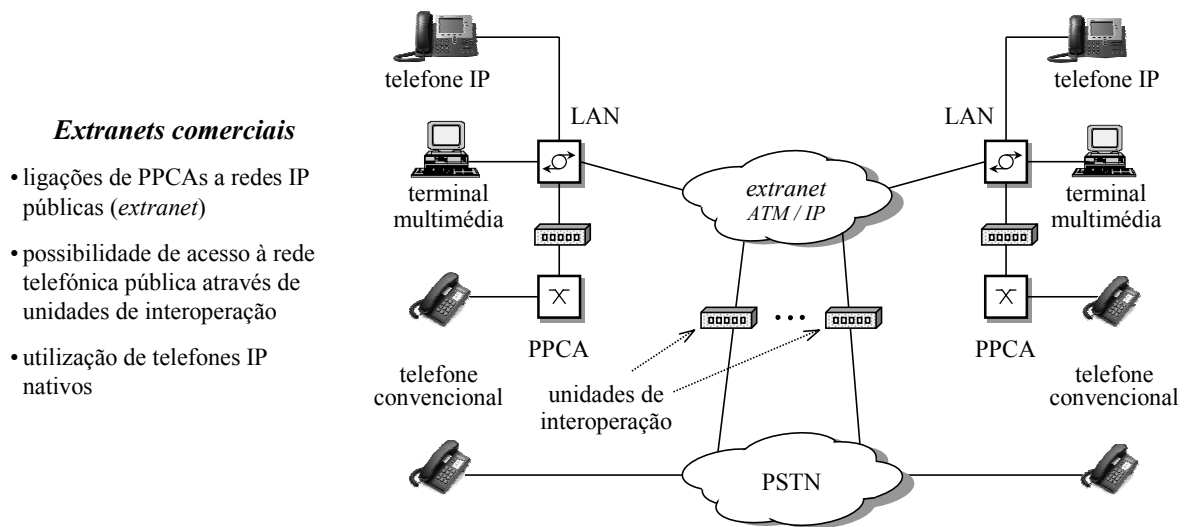
O cenário de voz sobre IP em *intranets* de empresas, assentes em frame relay ou ATM, já é utilizado há algum tempo por muitas empresas, o que também se tornou legalmente possível em Portugal, com os primeiros passos da liberalização do mercado.

Evolução da rede

Convergência com redes de dados

Evolução do transporte de voz → migração da rede comutada para rede IP

Extranets comerciais

- ligações de PPCAs a redes IP públicas (*extranet*)
- possibilidade de acesso à rede telefónica pública através de unidades de interoperação
- utilização de telefones IP nativos

Cenários de evolução do transporte de voz na rede fixa de telecomunicações (2)

Tecnologias e Sistemas de Comunicação *Rede Fixa de Telecomunicações*

O cenário de *extranets* comerciais tornou-se possível com o aparecimento de novos operadores que instalaram de raiz redes de dados, sobre as quais transportam o tráfego de voz - a atribuição de banda é feita de forma conservativa, garantindo a qualidade do serviço.

A migração do tráfego de voz para redes de dados é um requisito essencial para a rentabilização da infraestrutura, que pode ser resolvido de várias formas:

- nos utilizadores comerciais que já usam LANs nas suas redes internas, poderão ser usados terminais que, suportando voz sobre IP, acedem directamente à rede de dados; em alternativa, poderão ser usados telefones convencionais ligados a PPCA's, sendo necessário, neste caso, promover a interoperação na própria rede privada;
- para estender a oferta aos utilizadores com acesso telefónico convencional, a interoperação deverá ser feita na rede pública, o mais próximo possível da central local que serve o utilizador;
- nas redes de acesso por ADSL ou por cabo, já é possível disponibilizar serviços de voz sobre IP, estando, contudo o sucesso deste serviço dependente de os operadores disponibilizarem unidades de interoperação para acesso à rede fixa convencional.

Só dentro de alguns anos a Internet, como rede global, poderá ser utilizada como suporte universal de comunicações de voz, havendo ainda uma série de problemas a resolver:

- limitações de banda da rede, que conduzem a atrasos excessivos;
- normalização de protocolos de codificação de voz, de transporte e de serviços de directórios;
- disponibilização de unidades de interoperação capazes de suportar grandes números de chamadas em simultâneo;
- política de taxação adequada.